

Vitalisering med biokol i urbana växtbäddar

Befintliga tekniker på marknaden som kan implementeras

Remediation with biochar in urban soils

Existing techniques that can be implemented

Björn Skålberg & Jacob Stenlund



Självständigt arbete • 15 hp
Landskapsingenjörsprogrammet
Alnarp 2020

Vitalisering med biokol i urbana växtbäddar

-Befintliga tekniker på marknaden som kan implementeras

Remediation with biochar in urban soils

Existing techniques that can be implemented

Björn Skålberg & Jacob Stenlund

Handledare: Ann-Mari Fransson, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur planering och förvaltning

Bitr handledare: Åsa Bensch, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur planering och förvaltning

Examinator: Eva-Lou Gustafsson, Institutionen för landskapsarkitektur planering och förvaltning

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: G2E

Kurstitel: Självständigt i arbete i landskapsarkitektur, G2E Landskapsingenjörsprogrammet

Kurskod: EX0841

Program: Landskapsingenjörsprogrammet

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2020

Omslagsbild: Oregon Department of Forestry/flickr/CC BY 2.0

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: biokol, biochar, växtbädd, pyrolys, jordförbättring, vitalisering

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Sammanfattning

Biokol är en produkt med högt kolinnehåll. Upptäckten av biokol "Terra preta" kommer från Sydamerika där biokol var en restprodukt som visade sig ha mycket positiva effekter på växtligheten. Biokol framställs nuförtiden genom en process som kallas för pyrolys där bland annat park- och trädgårdsavfall, slam, alger och tång förbränns under syrefattiga förhållande. Fördelarna med denna process är att kol binds i form av biokol istället för att genom en vanlig förbränning släppa ut växthusgasen koldioxid, på detta sätt etableras en s.k. kolsänka. Biokol har en halveringstid på 150–1000 år vilket är väldigt positivt ur miljösynpunkt eftersom kol binds under lång tid. Vid processen skapas värme som kan användas för att driva pyrolysisprocessen och användas som fjärrvärme. Biokol har mycket goda egenskaper som jordförbättringsmedel eftersom det har en hög vattenhållande förmåga och hög katjonutbyteskapacitet vilket innebär att det binder näringsämnen som kan komma växtligheten till nytta.

I detta arbete redovisas olika tekniker som skulle kunna användas för att få ner biokol i urbana växtbäddar som jordförbättringsmedel. Olika maskiner som kan användas för detta syfte har utvärderats och resultaten visar att det finns en del maskiner som passar mer eller mindre bra beroende på typ av växtbädd och förutsättningar på platsen.

Abstract

Biochar is a product with a high carbon content. The discovery of biochar "Terra preta" comes from South America where biocarbon was a residual product that proved to have very positive effects on vegetation. Biochar is nowadays produced through a process called pyrolysis where restricted access to oxygen leads to combustion of residual products, such as park and garden waste, sludge, algae and seaweed. The advantages of this process are that it binds carbon in the form of biochar instead of emitting the greenhouse gas carbon dioxide through a normal combustion, in this way a so called. carbon sink. Biochar has a halflife of several hundred to thousand years, which is very positive from an environmental point of view. The process also creates heat that can be used to drive the process and heating as district heating. The byproduct biochar has very good properties as a soil improver as it has a high waterholding capacity and high cation exchange capacity, which means that it binds nutrients that can benefit the vegetation.

This paper presents various techniques that could be used to reduce biochar in urban plant beds as soil remediation while establishing a carbon sink. Various machines have been investigated that can be used for this purpose and the results show that there are some machines that fit more or less well depending on the type of plant bed.

Innehållsförteckning

Inledning	5
Bakgrund	5
Frågeställning	5
Syfte/mål	5
Metod	5
Biokol – Varför, vad & hur	7
Pyrolyprocessen	8
Biokol	9
Tekniker	11
Luftlans	11
Jordbör	14
Luftningsmaskiner	16
Toppdressing	18
Top Changer	20
Resultat	21
Diskussion	24
Referenslista	27

Inledning

Bakgrund

“När halten av växthusgaser ökar i atmosfären stannar mer värme kvar vid jordytan. Jordens naturliga växthuseffekt förstärks, temperaturen stiger och klimatet förändras med risk för allvarliga effekter runt om i världen. Den främsta orsaken till växthuseffektens förstärkning är utsläpp av växthusgasen koldioxid. Ju mer koldioxid i atmosfären, desto varmare.” (Naturvårdsverket 2008).

Den globala uppvärmningen är en mycket aktuell fråga och arbetet med att minska koldioxidutsläppen pågår för fullt. Ökad energieffektivitet, eldrift, minskad användning av fossila bränslen eller kolsänka i form av biokol kan vara lösningar på detta problem.

Parallellt med detta pågår en stadsutveckling där höga krav ställs på att bygga tätt och grönt.

Trots att det i en tät stadsbild idag finns mindre plats för traditionella grönytor ställs höga krav på vilka ekosystemtjänster som stadens grönska ska leverera; rekreation, klimatanpassning och dagvattenhantering är bara några av dem (Malmberg, Jönsson Belyazid & Fransson 2019).

Ett sätt att minska koldioxidutsläppen samtidigt som en jordförbättringsprodukt skapas är att genom pyrolys skapa biokol. Biokol är en mycket klimatsmart produkt med en mycket lång halveringstid och från 2018 betraktas biokol som en kolsänka (Negative Emission Technology (NET) av IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)). Att biokol fått denna klassificering kan öppna upp för en ökad implementering på marknaden.

Ett projekt som fokuserar på att minska koldioxidutsläppen i atmosfären är Rest till Bäst som är Vinnova-finansierat och vars syfte är att genom pyrolys skapa biokol där samhällets organiska restprodukter kommer till nytta; (park- och trädgårdsavfall, slam, alger och tång) samtidigt som miljö- och klimatpåverkan minimeras och en kolsänka etableras. Projektet har 14 partners - alltifrån etablerade universitet och större företag till småföretag och kommuner (Rest till Bäst 2019). Detta är ett steg mot mer hållbart och cirkulärt samhälle.

Frågeställning

Finns det existerande tekniker som skulle kunna användas vid tillförande av biokol i befintliga växtbäddar och gräsytor i urbana miljöer?

Syfte/mål

Vi kommer att utforska vilka metoder som skulle vara möjliga att använda för att få ner biokol i befintliga växtbäddar och gräsytor i urbana miljöer.

Metod

Uppsatsen baseras på en litteraturstudie och kompletteras med information och analys av olika tekniker som kan användas för att vitalisera växtbäddar i urbana

miljöer med biokol. Till litteraturstudien har vi sökt vetenskapliga publikationer och tidskrifter genom SLU:s söktjänst Primo men även Google scholar. Vi har hittat källor i referenslistan i olika kandidatarbeten inom liknande ämnen. Vi har använt oss av boken Biochar in European soils and agriculture: science and practice av Simon Shackley et.al. (2016) som tillhandahölls av vår handledare Ann-Mari Fransson som även guidat oss i allmänhet för att hitta bra relevant information. Mycket information och länkar har funnits på projektet Rest till Bäst hemsida biokol.org.

För att hitta olika maskiner, verktyg och tekniker har vi använt google, då både allmänna sökningar och bildsökningar. Vi har besökt olika tillverkares hemsidor. De undersökta teknikerna diskuteras och stöds om möjligt med vetenskapliga källor för att utröna dess lämplighet.

Nyckelord: *biokol, biochar, pyrolys, pyrolysis, terra preta, jordförbättring, vitalisering*

Biokol – Varför, vad & hur

Våra städers grönytor utsätts för hårt tryck. I takt med förtätning med begränsat utrymme för grönytor ställs högre krav på att det befintliga växtmaterialet är vitalt och levererar de ekosystemtjänster som vi eftersträvar. Tyvärr för ett ökat brukande med sig en del negativa aspekter som kompaktering, slitage, stress, avgaser men även utarmning av växtbäddarna. På marknaden idag finns ett antal tekniker för att vitalisera och förbättra växtbäddar. Växtbäddsrenovering, mulchning, toppgödsling är några av de tekniker som används. På senare år har biokol dykt upp som ett alternativ och komplement till andra jordförbättringsmedel.

Biokol är mångsidigt som växtsubstrat som kan förbättra en växtjord på många sätt (Lehmann et.al. 2011). Framförallt genom att förbättra porositeten i jorden långsiktigt, stabilisera makroporer och jordaggregat mot framtida kompaktering. Biokols positiva egenskaper med stor vattenhållande förmåga och hög CEC (katjonutbyteskapacitet) gör att det används som komplement för att förbättra en jords egenskaper för att fungera som ett optimalt växtsubstrat (ibid). Biokol i sig självt erbjuder dock inte så mycket näring till jorden utan bör näringsladdas eller blandas med exempelvis kompost vid tillsättning i näringsfattiga jordar (ibid).

Enligt (Fields-Johnson & Abbott 2020) passar vissa jordförhållanden bättre än andra för inblandning av biokol, de jordförhållanden som gagnas mest av inblandning av biokol är:

- Jordar med lågt organiskt innehåll
- Jordar med hög lerhalt med dålig aggregatbildning
- Jordar med högt sand-eller grusinnehåll
- Kompakterade jordar med hög brukarfrekvens
- Jordar med dålig dränering eller stående vatten

Detta arbete behandlar några tekniker som går ut på att vitalisera växtbäddar med biokol, tekniker som kan användas i preventivt syfte eller för att reparera en kompakterad jord eller en jord som behöver förbättras för att ge bättre växtförutsättningar. De undersökta teknikerna innebär också sekundära effekter som påverkar jorden positivt, t.ex förbättrat dränage, rening av dagvatten, ökat mikrobiellt liv, högre gasutbyte och dekompaktering/luckring (Lehmann & Joseph 2015). På sportytor av gräs kan biokol ha mycket positiva effekter eftersom dessa ofta är uppbyggda av sand, detta innebär att den vattenhållande förmågan förbättras avsevärt, upp till 50 % (Xu et al. 2014), detta i kombination med ökad CEC ger en mer slitstark gräsmatta med bättre rotutveckling och därmed en längre säsong. Den vattenhållande förmågan kan också göra gräsmattan mindre känsligt för torka. I förlängningen kan detta innebära att konstgräsfotbollsplaner slussas ut vilket är en stor vinst miljömässigt.

Vid nyanläggningar med skelettjord eftersträvas en volymprocent på 10–20 % biokol (Stockholm 2017). Beroende på jordmån kan relativt små tillsatser av biokol (1–2% w/w) vara tillräckligt för att reducera skrymdensiteten och öka den vattenhållande förmågan (Mukherjee & Lal, 2013). I takt med ett varmare klimat med mer extremt väder kan biokol ha en utjämnande effekt på jordar. Biokols vattenhållande förmåga kan vara/bli mer betydelsefull med tanke på längre torrperioder, lägre grundvatten och bevattningsförbud i Sverige.

Pyrolyprocessen

Biokol framställs genom en process där organiskt material exponeras för en hög temperatur i en syrefri miljö. Denna process kallas pyrolys och med moderna pyrolysanläggningar framställs biokol av olika organiska restprodukter från jordbruk, skogsbruk, park- och trädgårdsavfall, rötslam och alger (Rest till Bäst 2019).

Biokolet är den fasta biprodukten som fås fram vid en pyrolysisreaktion, tillsammans med biooljor i flytande form samt olika gaser (Bhattacharya et al. 2015). Beroende på temperatur och uppehållstid får biokolet olika egenskaper och hur mycket av de olika produkterna som bildas bestäms. Den kemiska sammansättningen och det organiska materialets torrhetsgrad har också betydelse (ibid).

I *Biokol i gröna klimatskal* av (Malmberg, Jönsson Belyazid & Fransson 2019) beskrivs hur temperaturen påverkar och ger biokol olika egenskaper. Pyrolysering under högre temperatur genererar en mindre volym biokol men ett biokol som har högre andel kol (C) per gram och innehåller mindre skadliga ämnen. Näringsämnet fosfor finns kvar i biokol efter pyrolys, det mesta av kvävet avgår dock vid förbränning.

Vid högre förbränningstemperatur ökar andelen meso- och mikroporer och därmed den specifika ytan men ursprungsmaterialet spelar också en roll. Biokol innehåller mycket basiska joner, detta eftersom pyrolysen sker under 1000°C, dessa lägger sig som aska kring biokolspartiklarna. Ursprungsmaterialet bestämmer hur mycket aska som bildas och därmed också pH-värdet. Svårnedbrytbart trämaterial producerar generellt mindre aska än andra material (Malmberg, Jönsson Belyazid & Fransson 2019).

Temperaturen vid pyrolysen har stor betydelse för biokolets egenskaper (Keiluweit, Nico, Johnson & Kleber 2010). Vid förbränning vid god syretillgång är det endast en liten del kol som återstår i askan. Resten av innehållet består av mineraler som kalcium (Ca) eller magnesium (Mg) (Lehmann & Joseph 2009).

Vid pyrolys på temperaturer >700°C förångas det mesta av kadmiumföreningarna och avskiljs då från biokolet. Även kvicksilver, bly och zink avgår medan koppar, krom och nickel blir kvar. Avskiljning av kadmium är viktig för att kunna återföra fosfor och andra näringsämnen i organiska restprodukter till de olika gröna lösningar det är tänkt till. Vid temperaturer >250°C destrueras bakterier och smittämnen (Rest till bäst 2019).

Beroende på inställningen på pyrolysverket kan kvaliteten säkerställas med avseende på fosforinnehåll, närings- och vattenhållande kapacitet men även förekomsten av tungmetaller och PAH:er (Malmberg, Jönsson Belyazid & Fransson 2019).

Dagens moderna pyrolyswerk kan använda värmen som bildas vid förbränningen av gaser och tjärar för att driva processen. Detta innebär att ingen extern energikälla behövs vilket gör att processen blir mycket energieffektiv. Beroende på vad som förbränns kan processen också ge ett energiöverskott, något som till exempel pyrolysverket i Hammenhög utnyttjar till att leverera fjärrvärme, på detta sätt blir hela processen koldioxidnegativ (Malmberg, Jönsson Belyazid & Fransson 2019).

Förhoppningen är att genom modern pyrolysteknik och svensk innovation omvandla de organiska restprodukterna till ett rent biokol (fritt från kadmium och PAH:er) som samtidigt är rikt på fosfor. Egenskaperna hos de olika typerna av biokol som erhålls från olika restprodukter kommer att analyseras, och dess potential som odlingssubstrat att utvärderas genom odlingsförsök i växthus (Rest till Bäst 2019).

Biokol

“Biokol som jordförbättringsmedel leder till dubbel klimatnytta. Dels avskiljs koldioxid från atmosfären och lagras i marken dels ökar växtligheten och mer kol binds in i det växtmaterial som växer upp” (Avfallsverige 2019).

Intresset för biokol och dess möjligheter väcktes på bredare front efter att arkeologer upptäckte biokolsjordar skapade för tusentals år sedan som ett resultat av att sydamerikanska indiansamhällen frilade regnskogsområden för odling (Kim, Sparovek, Longo, De Melo & Crowley 2007). Denna biokol jord kallad *Terra Preta de Indio* som betyder *”indianernas svarta jord”* uppkom genom en form av svedjebruk där en lågintensiv kontrollerad förkolning skedde (ibid). Indianernas teknik med kontrollerad förkolning innebar att en stor del av kolet i biomassan inte avgick som koldioxid utan blev kvar som biokol i marken efter förbränningen (ibid).

Denna metod med kontrollerad förkolning skiljer sig mot traditionellt svedjebruk där en ren förbränning sker och bara askan används till jordförbättringen (Novak et al., 2009; Verheijen et al., 2010). Upptäckten av dessa unika och mycket gamla biokolsjordar har dragit till sig mycket intresse, och blivit ett forskningsområde som genererat en stor mängd litteratur och dokumentation (Warnock, Lehmann, Kuyper, Rillig 2007).

Biokolsjordar i regnskogen har visat sig vara mycket bördiga med högt innehåll av bl.a. fosfor och kalium (Warnock et al. 2007). Det finns även uppgifter på att biokol blandades med fekalier för att förhindra spridning av smittsamma sjukdomar (Schmidt 2012). Detta ledde i sin tur till att biokol laddades med näringsämnen och kunde fungera som näringsförråd i jorden. Vidare menar författaren samtidigt att på många tropiska jordar uppnås positiva effekter av biokol utan näringsladdning.

Enligt (Atkinson, Fitzgerald & Hipps 2010) visar även biokol jordar en förhöjd nivå av näringsämnen samt en mycket bredare och högre biodiversitet jämfört med andra jordar i området. Biokol jordarna har även högre bördighet och motståndskraft, jämfört med omkringliggande jordar som inte innehåller biokol (ibid).

De sydamerikanska biokol jordarnas motståndskraft mot nedbrytning över tid är mycket intressant med avseende på att använda biokol som kolsänka (Lehmann et al. 2002). Trots det extremt fuktiga klimatet och den snabba mineraliseringen som råder i dessa jordar ser vi att biokol har haft en mycket låg nedbrytning vilket innebär att livslängden för biokol som kolsänka bör vara ännu högre i exempelvis våra svenska jordar (ibid). Det mikrobiella livet har även utvecklats i dessa gamla biokol jordar

under tiden till att både bli artrikare och i ökad mängd (Atkinson, Fitzgerald & Hipps 2010; Cernansky 2015; Lehmann et al. 2002).

Biokolets stabilitet i marken beräknas ha en halveringstid på hundra till tusentals år och de äldsta ”Terra Preta” jordarna som hittats har en ålder kring 7000 år (Spokas, Koskinen, Baker & Reicosky 2009; Verheijen et al. 2010). Därmed är biokol att betrakta som kolsänka och klassades 2018 som en Negative Emission Technology av IPCC.

Biomassan kan dessutom omvandlas och stabiliseras som biokol mycket snabbt genom pyrolys. Tekniken är relativt billig och enkel. Detta öppnar upp möjligheten för mindre aktörer att köpa en pyrolyspanna och börja tillverka egen biokol, exempelvis kommuner, kyrkogårdsförvaltningar etc (Rest till bäst 2019).

Egenskaperna som tillskrivs biokol är att det förbättrar jordens struktur genom hög katjonutbyteskapacitet, detta tack vare sin porösa yta och stora ytarea (Bhattacharya et al. 2015). Samt höjer och/eller stabiliserar pH-nivån beroende på ursprungsjord (ibid). Detta innebär att näringsämnen samt tungmetaller kan bindas till biokol vilket både buffrar näring i marken samt renar jorden från föroreningar (Lehmann & Joseph 2015). Biokol har även en vattenhållande förmåga likt lerans vilket framförallt är positivt vid inblandning i sandiga jordar eftersom dessa jordar inte har naturligt god vattenhållande förmåga i sig själva (ibid).

Biokols sprickor och håligheter skapar även goda livsmiljöer för mikroorganismer vilket ytterligare förstärker näringsdynamiken i jorden. Mikroorganismerna står bland annat bakom mineraliseringen i jorden som omvandlar organiskt material till växt tillgänglig näring (Lehmann et al. 2011).

Biokol återcirkulerar även den ändliga resursen fosfor till marken eftersom nästan allt fosfor i ursprungsmaterialet finns kvar i biokol tillsammans med många mikronäringsämnen medan de flesta oönskade ämnena förångas bort i pyrolysen (Gaskin, Steiner, Harris, Das & Bibens 2008). Kväve är dock ett mikronäringsämne som till stor del förångas bort vid pyrolysen och att addera kvävegödselmedel kan vara mycket positivt för att samspelet mellan biokol, mark, mikrober och växtrötter ska etableras fortare (Joseph et al. 2010).

Enligt (Elad et al. 2010) reducerar biokol även förekomsten av växtsjukdomar genom sin förmåga att binda vatten, rena jorden, stabilisera pH, öka katjon utbytet, binda skadliga ämnen och mineralisera jorden. Detta visar sig bland annat som en nedgång i antalet skadliga svampar till fördel för nyttiga svampar som mycorrhiza (ibid). Förenklat kan sägas att biokol förbättrar jordens ”immunsystem”.

Tekniker

I detta avsnitt redovisas olika tekniker som hade kunnat fungera för att få ner biokol i urbana växtbäddar som gräsmattor, växtbäddar och träd.

De tekniker som vi undersökt finns främst inom grönyte- och golfbaneskötsel.

- Teknikerna vi tittat närmare på är:
- Luftlans
- Jordborr
- Luftningsmaskiner
- Toppdressing
- Toppchanger

Luftlans

Luftlans är ett verktyg som använder komprimerad luft för att luckra upp t.ex. kompakterade växtbäddar. Metoden går ut på att en "lans" som trycks ned i jorden skjuter luft med högt tryck, se figur 1 & 2. Lufttrycket ska luckra upp och skapa en luftigare markstruktur. Metoden är skonsam för trädrötter (Fields-Johnson & Abbott 2020).

Denna teknik kan användas för att förbereda en växtbädd för vitalisering av biokol. Genom att skapa tomrum i markstrukturen kan biokol i nästa skede injiceras med samma maskin. Tester med biokol har genomförts där befintliga växtbäddar har vitaliserats med goda resultat, upp till 40 liter per hål. Beroende på jordens struktur och kompakteringsgrad har luftlans en spridning på ca 1,5 m/diameter per hål och ett arbetsdjup på upp till ca 70 cm, det finns även förlängningsrör för att nå djupare. Eftersom majoriteten av det mikrobiella livet håller till närmast markytan kan ett rekommenderat arbetsdjup ligga runt 30 cm. Att arbeta på större djup kan dock vara positivt för att förbättra dränering och luckra terrassen i växtbädden (Fields-Johnson & Abbott 2020).

Denna teknik möjliggör även injicering av flytande biokol med näring i växtbädden. Luftlansmetoden har också en positiv effekt på dräneringen av vatten i en vattensjuk växtbädd. Det är rekommenderat att aldrig arbeta med helt torrt biokol utan det bör fuktas för att undvika att materialet dammar. Detta dels för att hålla utförandet rent men framförallt för att undvika att dammet andas in. Det finns även en risk för att koldamm kan antändas vid kontakt med en tändkälla.



Figur 1. Försök biokolinjicering med luftlans på Agnesfridsvägen i Malmö foto: Jonathan Malmberg

Luftlanstekniken, se figur 1, lämpar sig bra för vitalisering av träd och komplexa ytor med mycket rötter eftersom operatören kan justera positionen av lansen i växtbädden för att undvika sten och rötter. Beroende på markens struktur kan arbetsdjup varieras eller begränsas. Metoden kommer troligtvis att vara mest framgångsrik när växtbädden har en hög markfukt och är mer lucker, alltså vår och höst. Att vattna växtbädden innan arbetet utförs rekommenderas för att åstadkomma ett effektivt resultat av tekniken. För en torr markstruktur kan innebära att tekniken inte kan spränga en aggregatstruktur och därmed försvåras en jämn spridning av biokolet.

Luftlansen kan justeras upp och ner i markstrukturen för att vitalisera i olika skikt, se figur 2. Enligt (Gustafsson¹, 2020-02-06) kan området kring stammen med fördel vitaliseras trots avsaknaden av finrötter då biokol gynnar det mikrobiella livet vilket leder till ökad nedbrytning av organiskt material som i sin tur skapar en luftigare jord med bl.a. ökat gasutbyte.

Fördelen med denna metod är att jordens egenskaper kan förbättras med en skonsam insats. Detta genom att både jordförbättrande och vattenhållande förmåga ökas i jorden, samtidigt som jorden får en luftigare struktur som gynnar gasutbyte hos rotsystemet och det mikrobiella livet. Vitaliseringen gör mest nytta i det organiska materialet men om arbetsdjupet ökar och terrassen luckras kan detta också ha positiva effekter för dräneringen (Fields-Johnson & Abbott 2020).

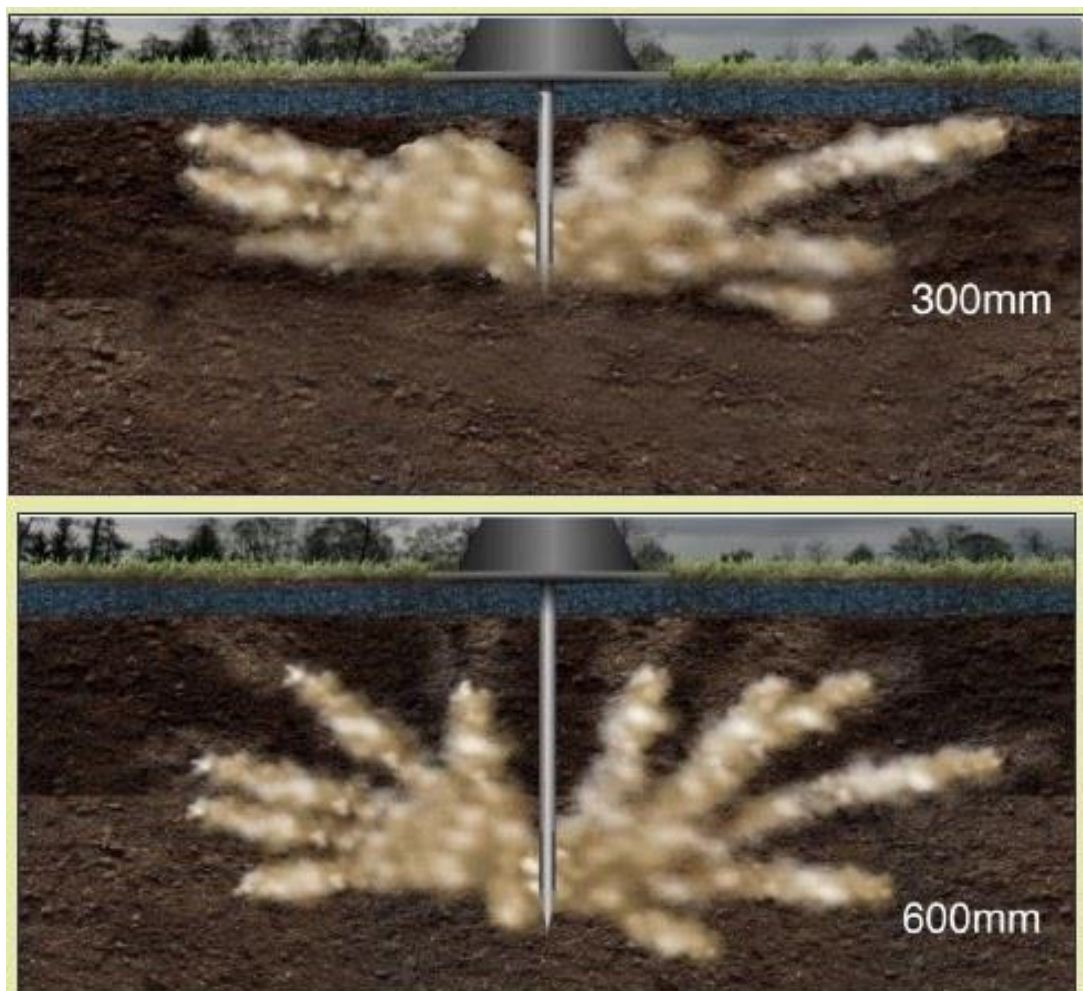
Stadsträdens rötter lider ofta av underdimensionerade växtbäddar vilket gör att rötter letar näring och vatten både på djupet och uppe på ytan. Här kan metoden anpassas genom att en förlängning monteras på luftlansen för att biokol ska kunna injiceras djupare i växtbädden vid behov.

En vitalisering på normalt djup (ca 30-60cm) hade kunnat leda till att djupväxande rötter söker sig upp mot ytan för att nå biokolet. I dessa situationer skulle biokol kunna injiceras både grunt och djupt för att "leda" rötterna mot biokolet.

¹ Eva-Lou Gustafsson, universitetsadjunkt SLU samtal 2020-02-06.

Att veta exakt var rötterna befinner sig i urbana växtbäddar är ett svårt och det enda vi med säkerhet vet är att rötterna letar sig mot vattnet och näring. Vart rötterna hittar detta är inte alltid självklart, det kan vara avloppsledningar, läckande vattenledningar, gamla ledningar som kan verka som transportvägar för rötter till näring och vatten. Tomma rör och utrymmen under mark bildar ofta kondens som rötterna utnyttjar för sin vattenförsörjning såsom kondensbildning under markbeläggningar. Att rötterna söker sig till omkringliggande grönområden är också vanliga överlevnadsstrategier i vatten- och näringsfattiga växtbäddar.

För att ta reda på rötternas exakta utbredning hade en rotkartering behövts men det innebär både större tidsåtgång, högre kostnad och förtar därmed lite av hela idén med att kunna vitalisera befintliga växtbäddar på ett både snabbt, ekonomiskt och effektivt sätt med hjälp av luftlansen. Därför bör vitaliseringen utföras ganska generellt och kan inte individanpassas i alla lägen om dessa värden med metoden eftersträvas. Skapas goda förutsättningar i jorden med ökat mikroliv, näring och vatten kommer rötterna med stor sannolikhet söka sig till biokolet.



Figur 2. Övre bild visar hur biokol kan sprida sig i markstrukturen med luftlans i det organiska materialet. Den undre bilden visar hur terrassen luckras och injiceras med biokol. Källa: Vogt (2020).

Jordborr

Jordborr skulle kunna användas som ett alternativ för att få ned biokol. Jordborrens främsta användningsområde idag är för att borra hål till plintar och stolpar. Det finns olika varianter av jordborr på marknaden där bland annat borrarnas utformning kan skilja sig åt men de åtskiljs främst på storlek och kapacitet. Dels finns jordborrar som ansluts till en bormaskin, dessa är förhållandevis lätta och smidiga och kan vara lämpliga då utrymmet är begränsat. Dessa modeller är kompatibla med borrarstorlekar på mellan 40–100 mm/diameter och har ett borrhjup upp till ca 700 mm.

En annan variant är den bensindrivna jordborren (figur 3), dessa kan vara designade för en eller två personers manövrering. De har en högre kapacitet med borrarstorlekar upp till ca 250 mm/diameter och ca 900 mm borrhjup. De bensindrivna modellerna är mycket kraftfulla och kan vara ganska tungkörda och "slagiga", detta är en aspekt att tänka på ur arbetsmiljösynpunkt.

Vid krav på ännu högre kapacitet finns det större modeller som monteras på redskapsbärare, denna typ av jordborr kunde vara aktuell vid arbete på större ytor med fokus att få ner mycket biokol på djupet. Det ställer dock krav på att jorden inte är allt för kompakterad eller innehåller större stenar, rötter eller annat material som kan hindra borrarskären.

Jordborren kan vara ett bra alternativ där markförhållandena tillåter användande av tekniken. Är kolsänka syftet kan relativt mycket biokol fås ned i marken genom att använda borrar med stor diameter och borra djupt, eventuellt med jordborr monterade på redskapsbärare. Exempelvis rymmer ett borrhål med diametern 200 mm och djup av 900 mm 14 l biokol. Även borrar med mindre diameter och smidig hantering kan vara effektivt vid trängre växtbäddar där syftet främst är jordförbättring, som busk/perennplanteringar och liknande.

Vid kompakterad mark kan jordborren användas till att förbättra dräneringen, detta genom att fylla hål med grövre material som lättare släpper ner vattnet i växtbädden. Att fylla hål med kompost har visat sig vara effektivt vid odling, där all näring i komposten kommer jorden till godo vilket även skulle kunna gälla för biokol.

Biokolet kommer att bli mycket koncentrerat till de fyllda hålen men detta är troligtvis inget problem för trädens rötter för de kommer att söka sig till näringen och vattnet. Gräsytor kan troligtvis upplevas flammiga och ojämna i tillväxten genom en ojämn näringstillgång, detta kan mildras genom att ytan toppdressas med en biokolsblandning efteråt. Hur biokol sprider sig ut från borrhålen i jorden över tid är inte klarlagt, en tanke är att rötterna kan hjälpa till att luckra och fördela ut biokolet runt hålen. Ett problem vid vitalisering av framförallt träd med jordborr är rotskador. Jordborrar är aggressiva mot rötter och kommer att medföra skador på rotsystemet, i och med detta är tekniken troligtvis inte applicerbar innanför droppzonen på friväxande träd. I droppzonen och 2,5 m ut finns de flesta finrötter och de har en god förmåga att återbildas vid skadepåverkan under förutsättning att trädet har en i övrigt god vitalitet. Överbliven jord kring borrhålen kan exempelvis blandas med biokol och sridas ut kring träden. Att använda sig av jordborr för att vitalisera träd med biokol är framförallt en teknik användbar från droppzonen och utåt från trädet men en besiktning av varje enskilt träd krävs för att utvärdera teknikens lämplighet.



Figur 3.Motordrivna jordborrar. T.v borrar för en person. T.h borrar för två personer. Stihl (2020).

Luftningsmaskiner

Denna teknik går ut på att en luftningsmaskin stansar eller pressar ut cylinderformade hål i gräs. Metoden används för att lufta gräsmattor med syfte att:

- Förbättra gasutbytet i jorden
- Förbättra vattenupptaget
- Öka förmågan att ta upp näringsämnen
- Reducera vattenavrinning från ytan
- Stärka rotsystemet
- Minska kompakteringen
- Öka värme- och torktåligheten

Denna teknik kan vara effektiv för att förbereda en gräsyta för påförsel av biokol eftersom de utstansade kärnorna (figur 4) ger utrymme för en relativt hög andel biokol. Beroende på vilken procent biokol som är önskvärd i gräsmattan kan maskinen bearbeta ytan vid flera överfarter eller så kan storleken på spjuten ändras.

Denna teknik används framförallt inom golfbaneskötsel och därför finns maskiner med hög kapacitet som traktormonterade redskap men även handhållna beroende på önskad kapacitet. Spjuten finns som ihåliga och som solida. De ihåliga (figur 5) stansar ut en kärna som avlägsnas från växtbädden och de solida trycker bort jorden i sidled.

Maskiner med kapacitet på 6000 kvm/timme som stansar 30 hål/kvm som är 19 mm/diameter finns, detta ger utrymme för 9 kbm substrat. Detta utrymme kan vitaliseras med biokol. Utöver det kan ytan toppdressas ytterligare.

Fördelen med denna teknik är att den är etablerad på marknaden, främst inom golfbranschen men även inom grönyteskötsel och detta gör att utbudet av maskiner är stort. Vid användning av solida spjut (figur 6) som trycker undan jorden kan en kompakterande verkan förekomma, en risk är väggarna blir hårda vilket skulle kunna hindra spridning och upptagning av biokol i jorden. Här kan de ihåliga spjuten vara mer skonsamma för markstrukturen eftersom jorden inte kompakteras då jorden avlägsnas. Nackdelen är att de utstansare jordkärnorna åker med upp och lägger sig bakom maskinen, detta medför ett ökat arbete på ytor där kärnorna inte kan ligga kvar, t.ex. fotbollsplaner. På mindre extensiva ytor kan kärnorna tillåtas ligga kvar för att undvika bortförsel av organiskt material från platsen.

Denna metod hade kunnat användas i kombination eller som alternativ till luftlans kring träd men ytliga rotsystem kan vara problematiska eftersom rötterna kan ta skada av spjuten och därför krävs en individuell bedömning för att ta reda på hur ytligt rötterna ligger i marken.

Val av maskin bör ske med tanke på vilken typ av yta som ska bearbetas, en komplex mindre yta kan bearbetas med en mindre maskin medan en större yta som t.ex. en fotbollsplan med en större maskin för ökad effektivitet. Viktigt att tänka på är att använda en maskin vars marktryck inte skapar en markkompaktering på den aktuella ytan.



Figur 4. Illustration på hur en luftningsmaskin skapar cylinderformade hål i marken.
Källa: Vogt (2020).



Figur 5. Luftningsmaskin som stansar ut en kärna som åker med upp, för golfbanemiljö.
Källa: Johndeere (2020).



Figur 6. Maskin som stansar ut hål i marken utan att ta med en kärna. Källa: Redexim (2020).

Toppdressing

Toppdressa innebär i traditionell mening att ett tunt lager på ca 1cm av sand och kompostjord påförs en gräsyta. Toppdressblandningar finns färdiga att köpa men kan även blandas själv och kunde utgöras av exempelvis sandblandad biokol, kompostblandad biokol eller enbart biokol. Toppdressing är en metod som ofta kombineras med luftning av gräsytan och påfört material kommer då både djupare och fortare ner i gräsytan.

Att blanda biokol och sand kan vara bra för att binda ihop det flyktigare biokolet och undvika vinderosion av dressblandningen. Sanden är även bra för att luckra och få ner luft och vatten i gräsmattan och öka den dränerande effekten. Vanligtvis är det önskvärt att material som påförs skall överensstämma med den befintliga, men den kan också avvika för att uppnå andra effekter såsom ökad förmåga till luft- och vatteninfiltration vilket biokol är ett exempel på. För att förhindra lagerbildning som kan hindra vatteninfiltrationen är det viktigt att toppdressen är likadan varje gång som nytt substrat påförs. Detta kan ske om toppdressen består av ett fint material som bildar ett tätt lager i en förövrigt väl-dränerad jord.

Vanligen toppdressas en gräsmatta för att stimulera skotttillväxt hos gräset. Gräsmattan blir även mer torktålig genom att fukthållande ämnen som biokol tillsätts och gräsets rotkvalitet förbättras, toppdressning används även för att jämna ut ytan på gräsmattan.

Toppdressningen kan utföras flera gånger under växtsäsongen och vanligast är att det utförs på våren vilket anses som bästa tiden. För en vanlig gräsmatta kan ett lämpligt intervall vara vart 3–4 år. Ska gräsmattan jämnas ut kan det vara nödvändigt att utföra dressningen etappvis så att gräset inte kvävs genom att ett för tjockt lager påförs på en gång. För mycket toppdress kan tvinga upp gräsrötterna i det nya materialet för överlevnad, vilket leder till en torkkänslig gräsmatta.

Biokol kan ingå i toppdressblandningen, om denne skulle blandas med sand, grus, kompost eller enbart bestå av biokol kräver mer försök för att ta reda på. Kanske kan biokol påföras separat med ett lager sand efter, eller vattnas ner för att undvika vinderosion och att gräsytan upplevs dammig.

Försök med spridning av biokol på gräsytor har utförts och mängderna det talas om är mellan 1–5 kg biokol per m². Vid försöket på fotbollsplanen i Linero IP (figur 7) användes 2kg/m². Biokol binder vatten men ökar samtidigt vattenutbytet i jorden genom att jorden luckras.



Figur 7. Försök med biokol som toppdress på Linero IP. Källa:Lunds kommun (2019).

Top Changer

Top Changer är en markluftare (figur 8) som baseras på högt tryck och vatten. Genom att skjuta vatten med högt tryck skapas hål i marken, denna teknik ger samtidigt möjlighet att injicera jordförbättrande produkter i marken. Maskinen kan laddas med sand eller jordförbättringsprodukter, t.ex biokol. Maskinen kräver endast en överfart på ytan då alla moment utförs samtidigt. Denna teknik används framförallt på golfbanor och enligt leverantören VGR ska ytan kunna användas direkt efter bearbetningen. Arbetsdjupet är 0–10 cm och kapaciteten är ca 3200 kvm/t. Substratet som injiceras kan skjutas ner 5–10 cm i marken, detta innebär att ytan hålls ren och opåverkad. Maskinen kräver tillgång till vatten och behöver en slang inkopplad vid användning.

Att maskinen endast kräver en överfart är en fördel eftersom det sparar tid, möjligheten att använda flytande växtnäring eller substrat är också en fördel. Att använda vatten kan sänka kostnaden för driften eftersom risken att träffa stenar och rötter försvinner och därmed slitaget på spjut som andra metoder innebär. Eventuella rotskador borde också till stor del kunna undvikas. Vatten krävs och detta är en nackdel, tekniken är beroende av en närliggande vattenpost eller så får behovet tillgodoses genom en extern vattentank som redskapsbäraren transporterar.

Den här maskinen kan lämpa sig på exklusiva ytor. Att injicera biokol tillsammans med vattentryck är en intressant teknik men maskinen bör anpassas ytterligare för urbana grönytor för att bli mer användbar.



Figur 8. Topchanger på golfgreen. Källa: Vgrequipment (2020).

Resultat

I detta avsnitt presenteras en tabell över de undersökta teknikerna, se tabell 1. Det presenteras även ett förslag på en arbetsbeskrivning för hur ett parkträd kan vitaliseras med biokol genom att kombinera olika tekniker.

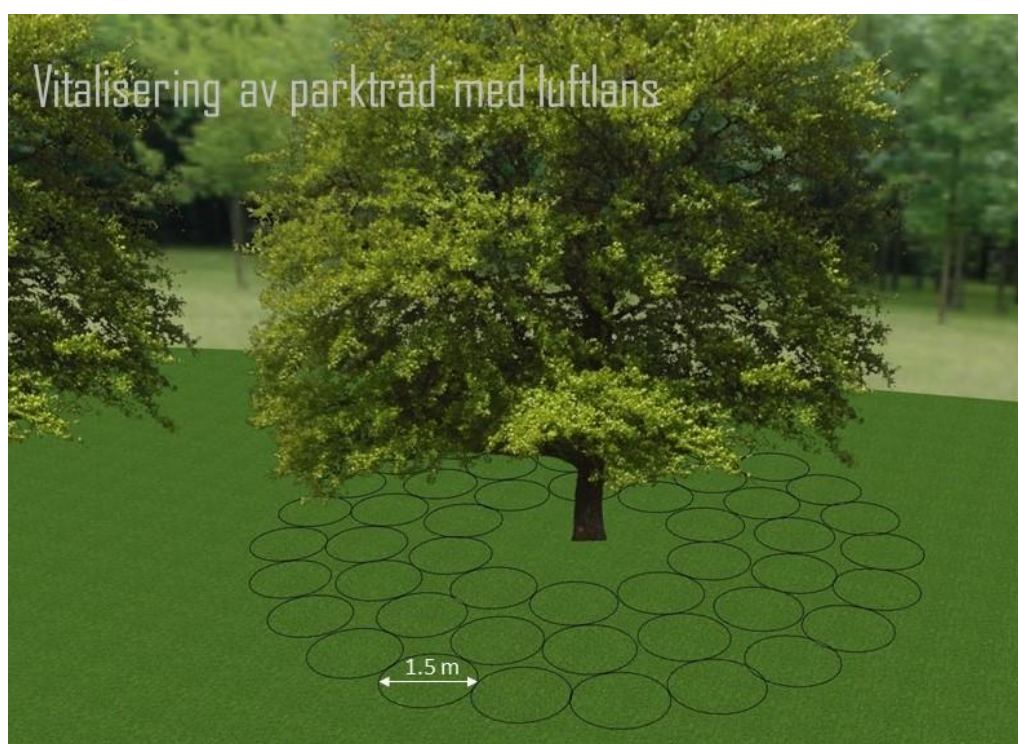
Tabell 1. En jämförelse mellan de olika tekniker som tagits upp i arbetet. Den visar de olika teknikerna som undersökts, vilka användningsområden och en ungefärlig uppskattning av kapacitet. Kapaciteten är beroende av storleken på maskin, de kapaciteter som presenteras avser vanligt förekommande maskiner.

Metod	Användningsområde	Kapacitet	Kommentar
Luftlans	Träd/gräsmatta Dekompaktering/ luckring	1–2 parkträd/dag	
Jordborr	Perenn/buskplantering/Träd	300 l/timmen	
Luftningsmaskiner	Gräsmatta/ Träd	6000 m ² /t	Kapaciteten avser maskin i figur 5
Toppdress	Träd/planteringsyta/ gräsmatta	3000	Föregås oftast av en luftningsmaskin eller luftlans
Topchanger	Gräsmatta		Fina jämna ytor

Förslag på vitalisering av träd

För att lättare förstå luftlansens kapacitet och arbetsmetod gjordes en schematisk bild som även skulle kunna användas som arbetsbeskrivning (figur 9). Med stöd från fakta kring luftlansens kapacitet har ett förslag på hur en vitalisering kring ett parkträd hade kunnat se ut tagits fram. I exemplet används ett träd med 8 m/diameter. Injiceringen börjar ca 1–1,5 meter från stammen och sträcker sig förbi droppzonen. Från trädkronans horisontella yttermått sträcker sig generellt rotzonen ca 2,5 m utåt (Stockholm 2017), (storleken på träd och växtförutsättningar kan påverka mycket). I detta område finns mycket finrötter som står för mycket av vattenupptaget.

Exemplet innehåller 49 vitaliseringszoner vilka i teorin har potential att rymma ca 2000 l biokol, 40 l/hål. Arean som injiceras med biokol är 123 m² och räknat på att växtbädden är 30 cm djup vilken då innehåller 36,9 m³ jord gör att växtbädden potentiellt kan fyllas till 5,4 % (w/w) biokol.



Figur 9. Vitaliseringszoner för luftlans.

Vitalisering av trädspiegel med toppdressing efter luftlans

Beroende på hur ytan som ska vitaliseras används kan det vara aktuellt med en toppdress efter användning av luftlans (figur 10). Toppdressen kan då bestå av mulch med inblandning av 5–10 % biokol (Fields-Johnson & Abbott 2020). Om toppdressen läggs på en gräsmatta är ett 1 cm tjockt lager lagom och om det läggs på en redan mulchad yta kan tjockleken ökas något (ibid). Detta innebär att vitaliseringen sker både ovan och under jord och på så sätt ökar procenten biokol i växtbädden.



Figur 10. Trädspiegel av mulch och biokol.

Diskussion

Vårt mål med detta arbete har varit att undersöka med vilka på marknaden idag existerande maskiner och metoder det kan vara möjligt att få ner biokol i befintliga växtbäddar och grönytor i urbana miljöer. Genom att tillsätta biokol i befintliga växtbäddar i urbana miljöer är tanken att på ett ekonomiskt och smidigt sätt både vitalisera, förbättra förutsättningarna för växterna och skapa en långsiktig kolsänka på samma gång. Resultatet som eftersträvas är dels att koldioxid binds in i marken under mycket lång tid och att vår urbana grönska skall ges bättre förutsättningar att kunna leverera de ekosystemtjänster vi eftersträvar och behöver.

Vår utgångspunkt har varit att undersöka vilka existerande maskiner och metoder som kan vara lämpliga att använda för att få ner biokol i marken utan att behöva gräva upp växtbädden. För att teknikerna ska vara intressanta ur detta perspektiv är det viktigt att vissa kriterier uppfylls. Liten påverkan på befintlig markyta, kan utföras relativt snabbt, låg markkompaktering, god arbetsmiljö och kunna hantera de fraktioner av biokol som är normalt förekommande är exempel på viktiga kriterier.

Vi har använt oss av litteraturstudier främst för att ta reda på hur biokol tillverkas, dess historia och vilka egenskaper biokol har. Genom att bygga en kunskapsgrund på litteraturstudier har vi sedan med utgångspunkt från denna resonerat oss fram till val av maskiner och tekniker som vi anser kan vara tillämpbara för uppgiften. Eftersom det idag inte finns några maskiner eller tekniker med huvudsyftet att leverera biokol i marken har vi fått undersöka maskinmarknaden. Där har vi bedömt vilka maskiner med andra huvudfunktioner som även kunde fungera tillsammans med biokol. Detta främst genom att hämta in information från tillverkarna och därefter välja ut de maskiner/tekniker vi anser uppfyller våra kriterier och kan vara lämpliga för ändamålet.

Våra val av tekniker baseras bland annat på att de ska kunna utföras relativt snabbt och enkelt utan behov av grävning och återställning, dvs extensiva ytor kan behandlas under kort tid och kunna brukas kort tid efter insatsen. Detta uppnås bland annat genom att det övre marklagret lämnas i princip intakt. Trots att dessa metoder kanske inte ger lika stora volymer biokol i jorden som en växtbäddsrenovering, kan de utan problem upprepas årligen eller flera gånger per år för att öka mängden biokol i växtbädden genom att störningen är begränsad. Vi tror detta förfaringssätt är att föredra när det gäller våra urbana miljöer där många människor är beroende av sina grönområden och kanske inte har så många alternativ. Att vitalisera befintliga växtbäddarna utan att gräva upp dem är också främst tänkt som en ekonomisk och snabb teknik på de ytor där tekniken bedöms kunna fungera och göra skillnad. Alla växtbäddar kommer inte att kunna förbättras eller räddas med metoderna utan i vissa fall är en uppgrävning och renovering av växtbädden det enda alternativet. Det viktigaste är att växtbäddarna projekteras och anläggs på rätt sätt från början.

Metoddiskussion

Luftlansen är en mångsidig metod men dess främsta styrka är för att vitalisera träd och större buskar med biokol men kan också användas för att luckra upp kompakteringsskadade jordar, öka dräneringen och för att frilägga rötter vid en växtbäddsrenovering där allt växtsubstrat byts ut. Vid mindre buskar och perennplanteringar riskerar det kraftiga lufttrycket skada rotsystem och tekniken är

inte heller lämplig på större ytor på grund av att den är för långsam. Det är den av jämförda metoder som är mest kompatibel till biokol från början. Biokol kan skjutas ner både torr och vätskeblandad i jorden till önskat djup och metoden är skonsam mot trädrötter. Den kan kombineras med jordborr utanför rotzonen vid trädvitalisering och ytan kan toppdressas efteråt. Arbetet kan utföras av en person där samtlig utrustning och material kan transporteras och handhas av en person, detta kan ses som en styrka rent ekonomiskt.

Toppdress är den kanske mest allsidiga metoden och kan användas på i princip alla grönytor och växtbäddar, vid rätt förutsättningar även utan föregående luftning. Metoden är enkel och går i princip ut på att sprida ut en jämn toppdressblandning över en yta vilket gör metoden positiv ur en ekonomisk synvinkel. Vad toppdressblandning skall innehålla är varierande beroende på önskat resultat. I vårt fall där vi vill ha en toppdressblandning innehållande biokol kan en blandning mellan kompost och ca 5–10% biokol vara ett lämpligt grundrecept. Ska denna blandning läggas på gräsyta får den inte läggas för tjockt ca 0,5-1cm, används den runt träd som mulch kan den läggas tjockare. Maskiner för att sprida ut materialet kan vi hitta i bland annat golfbranschen där det finns traktordragna vagnar med spridare som lämpar sig för större gräsytor. Runt träd kan toppdressen spridas ut manuellt. På urbana grönytor är det rekommenderat att ytan luftas innan för att få ett bättre och snabbare resultat.

Luftningsmaskiner till gräsytor har ofta sitt ursprung i golfbranschen där kompaktering är ett vanligt förekommande problem. Dessa maskiner kan utan problem även användas på stenfria urbana gräsytor för att luckra och förbereda jorden innan biokol sprids ut.

Luftningsmaskin med efterföljande toppdress är en bra teknik när det gäller urbana grönytor. Tekniken ger en luftning och luckring av ytan som förbättrar upptag av biokol i jorden och ytan kan nyttjas direkt efter avslutad behandling. Metoden går fort och relativt stora arealer kan behandlas under begränsad tid vilket är en viktig aspekt vid extensiva urbana miljöer. Denna metod kan även användas vid biokols vitalisering av träd i grönytor men då företrädesvis med lite mindre och smidigare val av maskiner. Här kan dock ytliga rötter skadas av spikarna på luftningsmaskinen.

En ytterligare aspekt med metoden är att den behöver utföras i två moment, först luftningen och därefter spridning av biokol. Utförs jobbet med redskapsbärare kan dock båda momenten separat utföras av en person och redskapsbärare. Att toppdressa en gräsyta med biokol utan luftning kunde vara applicerbart på mindre extensiva ytor där biokolet har mer tid på sig att få komma ner i växtbädden. Detta förenklar och effektiviserar processen genom att ett moment tas bort.

Jordborr är en bra metod för att få ner större mängder kol som "kolbatterier". Att använda mindre handhållna jordborrar kan vara effektivt för att få ner biokol i busk och perennplanteringar. Större jordborrar medför en del rotskador och ska nog inte användas alls inom rotzonen på träd och framförallt inte på träd med nedsatt vitalitet på grund av att trädet troligtvis inte överlever påfrestningen. Alternativt kan jordborr komplettera luftlansen utanför rotzonen där jordborren kan komma djupare, få ner större mängd biokol och samtidigt utföra detta mer tidseffektivt än med luftlansen.

Ett frågetecken runt jordborren är att ytorna i borrhålen beroende på jordmån troligtvis kan bli lite "glaserade" och genom detta eventuellt begränsa biokolets möjlighet att sprida ut sig i omgivande jord. En lösning på detta kunde vara att en jordborr utvecklas som river och luckrar kanterna på hålet. En tanke kunde vara så enkelt som att "spikar" monteras mellan spiralerna och dessa har då en lite större diameter än borrhålets diameter och därmed river upp och luckrar kanterna. En annan idé är att tillverka ett "specialborr" som körs separat efteråt i de färdiga borrhålen för att enbart luckra upp kanterna.

Top changern är ett specialverktyg för golfbranschen och maskinen kan eventuellt fungera även på urbana grönytor. Det intressanta med topchangern är att arbetet utförs i ett moment där både håltagning och injicering av substrat sker samordnat. Topchangern har inte heller några mekaniska delar som penetrerar jorden och genom detta minimeras skador på både trädrötter och maskindelar.

Tekniken kräver dock konstant tillgång till vatten vilket kanske gör att maskinen känns lite osmidig i nuvarande utformning. Vattentillförseln sker med slang vilken kunde kopplas till en tankbil eller liknande där möjligheter att koppla in sig på vattennätet inte finns. Att transportera med sig vattnet med hjälp av redskapsbäraren kan kanske fungera i vissa fall men risken finns att vikten orsakar kompakteringsskador och gör ekipaget osmidigt.

Tekniken att injicera biokol tillsammans med vatten är mycket intressant och troligtvis applicerbar i större skala. Vissa luftlansar har denna funktion för att kunna trycka ned vatten och näring i växtbädden. Genom att använda vatten binder man biokolet, undviker damm, får en naturligt högre densitet på injicerat biokol och kan enkelt tillsätta valbara näringslösningar.

Val av metod för applicering av biokol går inte att generalisera utan bör bedömas från fall till fall och beslutas med hänsyn tagen till typ av växtbädd, vegetation samt platsens förutsättningar. Om biokolsvitalisering av befintliga växtbäddar blir en bred vedertagen metod kommer även nya maskiner specifikt utvecklas för denna arbetsuppgift.

Referenslista

Atkinson, C.J., Fitzgerald, J.D., Hipps, N.A., (2010). Potential mechanism for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant Soil* 337, 1–18.

Avfallsverige (2019). *Finns det en marknad för biokol?*
<https://www.avfallsverige.se/aktuellt/nyhetsarkiv/artikel/finns-det-en-marknad-for-biokol/> [2020-02-25].

Bhattacharya, I., Yadav, J.S.S., More Song Yan, T.T., Tyagi, R.D., Surampalli, R.Y. & Zhang T.C. (2015). Biochar. American society of civil engineers (ASCE)

Cernansky, R., (2015). Agriculture: state-of-the-art soil. *Nature* 517, 258–260. Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., Joseph, S., (2007). Agronomic values of green waste biochar as a soil amendment. *Aus. J. Soil Res.* 45, 629–634.

Elad, Y., David, D.R., Harel, Y.M., Borenshtein, M., Kalifa, H.B., Silber, A., Graber, E.R., (2010). *Induction of systemic resistance in plants by biochar, a soil-applied carbon sequestering agent*. *Phytopathology* 100, 913–921.

Fields-Johnson, C. & Abbott, C. (2020). Application of Biochar for Arboriculture. *International society of arboriculture, arborist news*, 29(1), ss. 12–16.

Gaskin, J.W., Steiner, C., Harris, K., Das, K.C., Bibens, B., (2008). Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. *Trans. ASABE* 51, 2061–2069.

Joseph, S., Camps-Arbestain, M., Lin, Y., Munroe, P., Chia, C., Hook, J., van Zwieten, L., Kimber, S., Cowie, A., Singh, B., Lehmann, J., Foidl, N., Smernik, R. och Amonette, J. (2010). An investigation into the reactions of biochar in soil. *Aust. J. Soil Res.*, 48(7), ss.501–515

Keiluweit, M., Nico, P., Johnson, M. och Kleber, M. (2010). Dynamic Molecular Structure of Plant Biomass-Derived Black Carbon (Biochar). *Environmental Science & Technology*, 44(4), ss.1247–1253. Laird, D. (2008). The Charcoal Vision: A Win–Win–Win Scenario for Simultaneously Producing Bioenergy, Permanently Sequestering Carbon, while Improving Soil and Water Quality. *Agronomy Journal*, 100(1), s.178.

Kim, J.S., Sparovek, G., Longo, R.M., De Melo, W.J., Crowley, D., (2007). Bacterial diversity of terra preta and pristine forest soil from the Western Amazon. *Soil Biol. Biochem.* 39, 684–690.

Lehmann, J., da Silva, J.P., Rondon, M., Cravo, M.S., Greenwood, J., Nehls, T., (2002). Slash-and-char-a feasible alternative for soil fertility management in the central Amazon. In: *Proceedings of the 17th World Congress of Soil Science*, pp. 1–12.

Lehmann, J. & Joseph, S. (2009). Biochar for Environmental Management: An Introduction. In: Lehmann, J. and Joseph, S.(red), Biochar for Environmental Management. London: Earthscan, ss.1–9

Lehmann, J., Joseph, S., (2015). Biochar for environmental management: an introduction. In: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.), Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation, second ed. Routledge, New York, pp. 1–14.

Lehmann, J., Rilling, M.C., Thies, J., Masiello, C.A., Hockaday, W.C., Crowley, D., (2011). Biochar effects on soil biota—a review. Soil Biol. Biochem. 43, 1812–1836

Malmberg, J, Jönsson Belyazid, U, & Fransson, A (2019). *Biokol – det nya svarta i gröna klimatskal*. Bygg-teknik-nr-419

Mukherjee, A. & Lal, R., (2013). *Biochar impacts on soil physical properties and greenhouse gasemissions*. Agronomy 3, 313–339.

Naturvårdsverket (2008). *Vad händer med klimatet? 10 frågor och svar om klimatförändringen*. Stockholm: Naturvårdsverket.

Naturvårdsverket (2019). *Konstgräsplaners miljöpåverkan*.
<https://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledningar/Plast-och-mikroplast/Konstgrasplaner/Konstgrasplaners-miljopaverkan/> [2020-03-02]

Novak, J.M., Lima, I., Xing, B., Gaskin, J.W., Steiner, C., Das, K.C., Ahmedna, M., Rehrh, D., Watts, D.W., Busscher, W.J., Schomberg, H., (2009). Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. Ann. Environ. Sci. 3, 195–206.

Rest till Bäst (2019). *Biokol – Rest till Bäst*. <https://biokol.org/hur-fungerar-det/biokol/>. [2020-03-12].

Schmidt, HP. (2012). 55 uses of biochar. Ithaka journal, 1/2012, ss. 286–289.

Spokas, S.A., Koskinen, W.C., Baker, J.M., Reicosky, D.C., (2009). Impacts of woodchip biochar addition on greenhouse gas production and sorption/degradation of two herbicides in a Minnesota soil. Chemosphere 77, 574–581.

Stockholm (2017). *Växtbäddar i Stockholms stad - en handbok 2017*

Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A.C., van der Velde, M., Diafas, I., (2010). Biochar Application to Soils: A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Process and Functions. JRC Scientific and Technical Reports. European Communities, Luxembourg.

Vogt (2020). *Luftlanze*. <https://www.vogt-tec.de/vogt-luftlanze/> [2020-03-08]

Warnock, D.D., Lehmann, J., Kuyper, T.W., Rillig, M.C., (2007). Mycorrhizal responses to biochar in soil – concepts and mechanisms. Plant Soil 300, 9–20.

Xu, H.J., Wang, X.H., Li, H., Yao, H.Y., Su, J.Q., Zhu, Y.G., (2014). Biochar impacts soil microbial community composition and nitrogen cycling in an acidic soil planted with rape. *Environ. Sci. Technol.* 48, 9391–9399.

Muntliga referenser

Gustafsson, E.L (2020-02-06). Universitetsadjunkt vid Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning, SLU, Alnarp.